

PROBLEMI RELATIVI ALL'INGRESSO IN CITTÀ DI PONTI RADIO TELEVISIVI

LORENZO TOMATI (*)

SOMMARIO — Viene esaminata la degradazione del segnale utile TV prodotta da un segnale interferente e la protezione da assicurare del primo rispetto al secondo, sia nel caso che il segnale interferente agisca sullo stesso canale del segnale utile, sia nel caso che esso agisca su canale adiacente. Vengono presi in considerazione anche i problemi relativi ai disturbi prodotti dai segnali interferenti sul AGC e il silenziamento del ricevitore interferito. I rimedi che si possono adottare sono di varia natura e cioè: aumento della direttività dell'antenna, filtraggio adeguato, discriminazione per polarizzazione. Infine si considerano alcuni aspetti riguardanti le possibili distorsioni dei segnali TV a colori dovuti alla propagazione in aree urbane.

SUMMARY — *Problems relevant to town incoming radio TV links. The degradations produced on the wanted TV signal by an interfering signal are examined. The TV protection ratios to be respected are also examined in case of cochannel interference and adjacent channels. Problems related to the possible disturbances produced by the interfering signal on the AGC and the squelch of the interfered receiver are also taken into account. Some solutions normally adopted for the above problems are examined: e.g. improvement of the antenna directivity, suitable filtering, polarization discrimination, etc. Finally, some problems related to the propagation in urban areas for what concerns the possible distortions on a colour TV signal are examined.*

Da un punto di vista radioelettrico, i problemi posti dalla concentrazione di più fasci radio in un unico nodo cittadino sono essenzialmente di due tipi:

- evitare il più possibile le interferenze da parte di altri fasci radio che utilizzano canali adiacenti di una stessa canalizzazione. Questa esigenza condiziona in modo determinante la massima utilizzazione della banda di frequenze disponibile per accedere al nodo cittadino;
- evitare che la propagazione nelle aree urbane, nelle quali in genere sono situati i terminali del collegamento, dia luogo a problemi particolari, come ad esempio riflessione da edifici o intercettazione del fascio radio da parte di questi ultimi.

A questi problemi essenzialmente tecnici, molto spesso si aggiungono problemi di ordine estetico. Infatti, dato il particolare carattere che presentano in genere le città italiane, l'ubicazione delle torri dei ponti radio non dovrebbe ledere l'estetica cittadina. Questi vincoli complicano ulteriormente i problemi radioelettrici su accennati.

Nel seguito si prendono in esame tali problemi per quel che riguarda l'entrata in città dei ponti radio televisivi prescindendo dai vincoli di carattere estetico sopra menzionati. Resta, però, bene inteso che, per realizzare un collegamento di buona qualità, questi vincoli non debbono alterare le condizioni che verranno indicate.

I - PROBLEMI DI INTERFERENZE

1. Introduzione.

Assegnata una certa banda, per elaborare un piano delle frequenze dei collegamenti che devono confluire in un unico nodo secondo direzioni assegnate,

occorre conoscere i rapporti di protezione tra segnale utile e interferente che è necessario rispettare. Questi vanno determinati sperimentalmente sia per le interferenze isofrequenza, sia per le interferenze tra canali adiacenti.

Nel seguito faremo riferimento alla banda 1900 ÷ 2300 MHz canalizzata secondo la Racc. 282-2, vol. IV, del CCIR e assegnata alla RAI per la distribuzione televisiva sul territorio italiano. Quanto detto a questo proposito fornisce utili indicazioni anche per canalizzazioni diverse.

È infine opportuno notare che ci riferiremo soltanto ai rapporti di protezione tra portanti modulate da segnali TV.

2. Rapporti di protezione TV.

2.1. RAPPORTI DI PROTEZIONE TV TRA PORTANTI ISOFREQUENZIALI.

Se la potenza del segnale interferente non è inferiore alla soglia del ricevitore, il segnale interferente viene discriminato assieme al segnale utile.

In corrispondenza del limite di visibilità, l'interferenza si presenta sullo schermo di un monitor posto dopo il demodulatore come un leggero effetto « moiré ». La visibilità del segnale interferente sovrapposto al segnale utile dipende da vari fattori. A parità di rapporto a radiofrequenza tra potenza del segnale utile e potenza del segnale interferente, essa dipende sia dal tipo di segnale modulante (utile e interferente), sia dall'entità dei leggeri scostamenti di frequenza che le due portanti interferenti possono presentare tra loro a causa della precisione e stabilità dei quarzi che generano le portanti stesse.

(*) Dott. ing. Lorenzo Tomati della RAI - Roma.
Dattiloscritto pervenuto alla redazione il 16 ottobre 1978.

Il rapporto a radiofrequenza tra la potenza del segnale utile e quella del segnale interferente per il limite di visibilità di quest'ultimo su un monitor posto dopo il demodulatore, definisce il rapporto di protezione contro le interferenze. La misura del rapporto di protezione si esegue normalmente usando segnali fissi, quali ad esempio diapositive o particolari segnali di prova CCIR.

I risultati che così si ottengono possono però differire tra loro anche per un certo numero di dB. Questo fatto non è solo dovuto alla diversa sensibilità al disturbo che osservatori diversi presentano tra loro, ma è dovuto anche a cause fisiche. In primo luogo, a parità di altre condizioni, l'occhio è sensibile in modo diverso a disturbi sovrapposti a immagini con contenuto di informazione diverso. Ad esempio, nel caso delle diapositive a colori, l'esperienza ha mostrato che l'occhio è particolarmente sensibile al rumore o a segnali spuri sovrapposti a grandi aree di colore rosso saturo. In secondo luogo l'occhio è sensibile in modo diverso alla potenza delle varie frequenze disturbanti (curva pesatrice dell'occhio); l'occhio umano è sensibile inoltre al fatto che il disturbo interessi o no zone dello spettro del segnale utile particolarmente significative per quel che riguarda il contenuto di informazione del segnale utile stesso. Ad esempio facendo interferire la portante utile modulata dal segnale « barre di colore » con una portante non modulata, si è notato che la degradazione massima su una certa barra di colore si verificava quando la frequenza della portante interferente veniva fatta coincidere con una delle prime bande laterali del primo ordine che la banda di colore stessa produceva nel processo di modulazione della portante radio. È inoltre da aggiungere che, mentre per alcuni segnali l'entità del disturbo visivo è circa la stessa nel caso che la portante interferente sia modulata o meno, per altri segnali si può trovare anche una notevole differenza.

Da quanto sopra detto si può dedurre che nella valutazione del rapporto di protezione non si può trascurare il tipo di spettro di modulazione delle portanti che interferiscono. Ciò spiega le differenze che si possono trovare nel valutare il rapporto di protezione usando immagini molto diverse tra loro con osservatori diversi.

È infine da notare che il rapporto di protezione è funzione anche del rapporto « segnale/rumore » dell'immagine utile demodulata: la presenza di rumore termico ha infatti un effetto mascherante sull'interferenza. Le misure mostrano però che per rapporti « segnale/rumore pesato » dopo demodulazione superiori a circa 50 dB, il rapporto di protezione a radiofrequenza si mantiene all'incirca costante.

Tenendo conto della discussione precedente e dei risultati di diverse misure eseguite al limite di percettibilità dell'interferenza sul monitor e per varie distanze di visione, esso si può assumere in via cautelativa pari a circa 50 dB ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Nel caso che la portante utile non sia modulata, prove sperimentali hanno mostrato che la potenza di segnale interferente non dovrebbe superare i -90 dBm. È facile constatare che questa condizione non è limitativa rispetto a un rapporto di protezione di circa 50 dB: infatti, in condizioni di spazio libero, la potenza del segnale utile si aggira in genere sui -30 ÷ -35 dBm e la verifica dei rapporti di protezione si esegue supponendo in fading tale segnale.

Il canale suono in sottoportante a 7,5 MHz trasmessa assieme al video risulta più protetto di quest'ultimo di circa 5 dB.

2.2. INFLUENZA DELLE INTERFERENZE ISOFREQUENZIALI SUL RICEVITORE INTERFERITO IN ASSENZA DI PORTANTE UTILE.

Un altro effetto dell'interferenza isocanale riguarda il possibile disturbo dei circuiti di silenziamento del ponte radio interferito. Supponiamo infatti che per qualche avaria il ricevitore sul quale si manifesta l'interferenza non riceva più la portante utile. In tal caso il controllo automatico di guadagno (C. A. G.) del ricevitore interferito viene pilotato dal segnale interferente; esso pertanto amplifica e concorre a ritrasmettere un segnale non voluto. I capitolati RAI stabiliscono da -20 dBm a -75 dBm l'intervallo di valori del segnale utile ricevuto entro il quale il C. A. G. mantiene l'uscita a frequenza intermedia (IF) del ricevitore stabile entro 1 dB, e in -75 dBm il minimo livello del segnale utile al di sotto del quale il ricevitore viene silenziato. La potenza del segnale interferente pertanto non deve superare i -75 dBm per non dar luogo all'inconveniente suddetto.

2.3. RAPPORTI DI PROTEZIONE TV TRA CANALI ADIACENTI.

Per quel che riguarda le interferenze dovute a segnali che cadono al di fuori del canale radio del ricevitore interferito, particolare importanza assumono le interferenze che possono provenire da parte dei canali adiacenti.

Nella canalizzazione della banda 1900 ÷ 2300 MHz impiegata dalla RAI per la distribuzione televisiva, le portanti radio sono separate tra loro di 29 MHz. Per risolvere situazioni geografiche particolari, si possono però usare nello stesso centro sia la canalizzazione principale che la canalizzazione sfalsata. In questo ultimo caso le portanti adiacenti distano tra loro di 14,5 MHz. Ha quindi importanza conoscere i rapporti di protezione tra portanti radio distanti tra loro 14,5 MHz e 29 MHz.

Anche in questo caso valgono considerazioni simili a quelle svolte nel paragrafo 2.1. È però da aggiungere che nel caso attuale sul valore del rapporto di protezione ha influenza anche la selettività dei filtri di trasmissione e ricezione.

Le misure hanno mostrato che con la selettività dei filtri in uso nella canalizzazione della banda dei 2000 MHz (banda a 3 dB pari a circa ± 17 MHz) il rapporto di protezione tra portanti distanti 14,5 MHz è pari a circa 20 dB, mentre tra portanti distanti 29 MHz esso scende a circa -10 dB (in questo caso cioè la potenza del segnale interferente può essere 10 dB superiore a quello del segnale utile).

Anche ora, in analogia con quanto detto a proposito delle interferenze isocanali, la presenza di un'interferenza tra canali adiacenti (specialmente nel caso di portanti distanti 14,5 MHz) può disturbare il silenziamento del ricevitore interferito nel caso che, in mancanza del segnale utile, il suo C. A. G. venga pilotato dal segnale interferente. Infatti a causa della grande larghezza di banda della caratteristica dei demodulatori usati, la portante distante 14,5 MHz può essere demodulata (anche se con distorsioni) al terminale ricevente con la conseguenza che viene ricevuto un segnale indesiderato.

Le interferenze che cadono sui canali immagine non danno luogo in genere a particolari problemi; infatti può sempre essere possibile inserire sul ricevitore un filtro opportuno.

3. Soluzioni tecniche possibili per realizzare i rapporti di protezione necessari.

Per realizzare i rapporti di protezione di cui ai paragrafi precedenti, i parametri sui quali si può agire sono essenzialmente la discriminazione angolare tra antenne e la diversità di polarizzazione.

Come è noto la discriminazione angolare tra antenne dipende sia dalla direttività di queste che dal valore dell'angolo formato dalle direzioni da servire. La pianificazione geografica di un nodo di ponti radio deve pertanto tenere conto contemporaneamente di questi parametri.

Nel caso di interferenza tra canali adiacenti si può inoltre far uso in certi casi di un opportuno filtraggio effettuato in banda base dopo demodulazione (v. paragrafo 3.3.).

3.1. MIGLIORAMENTI DELLA DIRETTIVITÀ DELLE ANTENNE.

È noto che per una data frequenza la direttività dell'antenna è funzione delle sue dimensioni. In genere i collegamenti RAI nella banda dei 2000 MHz fanno uso di antenne Horn Reflector di 36 dB di guadagno.

Una volta scelto in sede di progetto il tipo di antenna da usare e le sue dimensioni in modo da ottenere il guadagno desiderato, si pone il problema di come ridurre i lobi laterali dell'antenna prescelta al fine di aumentare la discriminazione angolare.

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi per ridurre i lobi secondari delle antenne Horn Reflector. Un certo miglioramento si è ottenuto ponendo internamente attorno alla bocca dell'antenna dei pannelli assorbenti.

La figura 1 mostra i diagrammi di antenna misurati in campo sperimentale per antenne Horn Reflector coniche da 4 metri di diametro con e senza i pannelli assorbenti di cui sopra. Si può notare il vantaggio che si ottiene dall'uso di tali pannelli. I lobi

secondari possono anche essere ridotti circondando la bocca dell'antenna dalla parte esterna con pannelli metallici opportunamente sagomati (shrouds) (bibl. 1). In tal caso i lobi laterali vengono ridotti per interferenza distruttiva da reirradiazione da parte dei bordi dell'antenna così modificati. Prove effettuate in campo sperimentale con « shrouds » situati ai due lati della bocca di antenne Horn Reflector tronco-piramidali hanno dato risultati simili a quelli di cui alla figura 1.

3.2. DIVERSITÀ DI POLARIZZAZIONE.

La figura 1 c), mostra la discriminazione per polarizzazione ottenuta da prove effettuate su alcune antenne Horn Reflector coniche da 4 m di diametro con e senza pannelli assorbenti. Le misure sono state eseguite in campo sperimentale trasmettendo con polarizzazione orizzontale e ricevendo con polarizzazione verticale.

Se si tiene conto anche della parziale depolarizzazione che l'onda elettromagnetica subisce nel collegamento in ponte radio, i risultati ottenuti mostrano che lungo la direzione principale dell'antenna ricevente è buona norma non far affidamento su una protezione per polarizzazione superiore a circa 20 dB. Tale protezione può anche ridursi a zero lungo altre direzioni.

È infine da notare che i risultati numerici di cui sopra si riferiscono a prove eseguite in campo sperimentale. È noto che in condizioni di installazione in opera, si possono ottenere risultati più o meno diversi a causa delle diverse condizioni ambientali nelle quali viene a trovarsi l'antenna.

3.3. FILTRAGGIO IN BANDA BASE.

In molti casi gli effetti visivi di una interferenza non isocanale possono essere ridotti ponendo all'uscita del demodulatore di ricezione un filtro di larghezza di banda tale da lasciare passare solo il segnale desiderato. Ad esempio, nel caso che questo sia il segnale video, si può porre all'uscita video del demodulatore un filtro equalizzato del tipo di quello descritto in bibliografia 2.

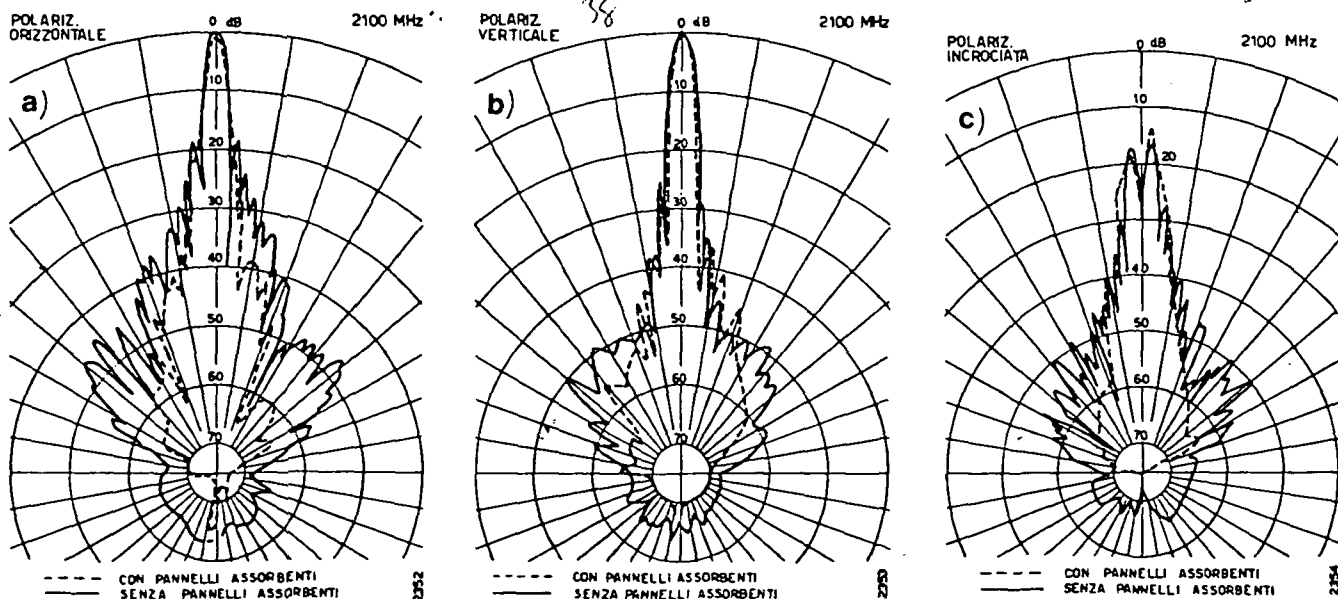


Fig. 1. — Diagrammi orizzontali di antenne Horn Reflector coniche di 4 m di diametro (freq. 2,1 GHz), senza e con pannelli assorbenti attorno alla bocca dell'antenna: a) polarizzazione orizzontale; b) polarizzazione verticale; c) polarizzazione incrociata ossia trasmissione con polarizzazione orizzontale, ricezione con polarizzazione verticale.

Infatti, ad esempio, nel caso di interferenza da parte di una portante distante 14,5 MHz, la differenza in frequenza a radiofrequenza tra la portante utile e la portante interferente (o le sue prime bande laterali nel caso che questa sia modulata) è superiore a 5 MHz: nel processo di demodulazione nasce quindi un segnale spurio che può essere facilmente filtrato. Quello descritto resta però sempre un provvedimento di ripiego.

La presenza a radiofrequenza di componenti spettrali spurie, anche se sufficientemente distanti dallo spettro del segnale utile, è sempre pericolosa. Infatti la presenza di eventuali non linearità a RF o a IF

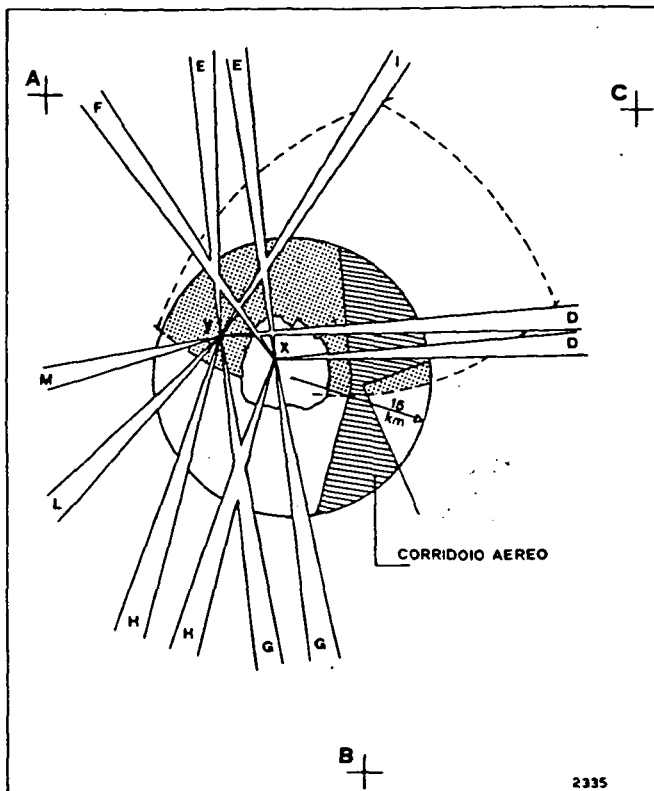


Fig. 2. — Scelta dell'area utile (punteggiata in figura) per l'installazione di una torre per le antenne di ponti radio in un nodo cittadino. A, B, C centri da servire con il nuovo impianto; D, E, F, G, H, L, M direzioni dei ponti radio che fanno capo alle installazioni X, Y già esistenti; l'area bianca centrale è quella urbana.

dà luogo, nel processo di demodulazione, a battimenti indesiderati che possono ricadere nella banda base del segnale utile rendendo con ciò impossibile un loro filtraggio.

4. Alcune considerazioni sulla pianificazione di un nodo di ponti radio.

Facciamo riferimento nel seguito ad un nodo cittadino di grande importanza, dal quale entrano ed escono molti fasci radio. Si voglia trovare la ubicazione più adatta per servire con una nuova installazione ricetrasmittente e con la stessa frequenza le località A, B, C indicate in figura 2. Un problema del genere potrebbe porsi nel caso che si debbano potenziare postazioni esistenti già saturate. La nuova installazione potrebbe poi essere collegata alla vecchia postazione per mezzo di cavi coassiali.

La maschera che dovrà contenere il diagramma di irradiazione delle antenne da usare sia quella di figura 3. Da essa risulta che, per assicurare una pro-

tezione non inferiore a 65 dB, è necessario che gli angoli mutui tra le direzioni uscenti dal nuovo centro verso A, B, C non siano inferiori a 90°.

È noto che da un qualsiasi punto di una circonferenza un suo diametro è visto sotto un angolo di 90° per cui, se si vuole soddisfare la suddetta condizione, la torre che porta le antenne del nuovo centro dovrà essere collocata dentro le circonferenze di diametro AB, BC, CA (tratteggiate in fig.).

Se si introducono poi ulteriori vincoli si restringe ulteriormente l'area geografica disponibile. Con i seguenti vincoli:

- la nuova postazione ricetrasmittente non si deve trovare nel corridoio aereo dell'aeroporto cittadino né nel fascio a 3 dB delle antenne delle società di telecomunicazioni che già operano in città (centri X e Y di fig. 2);
 - la nuova postazione deve essere situata entro un raggio di 15 km dal centro cittadino ma non entro l'area di maggiore densità delle costruzioni;
- allora l'area possibile per la nuova postazione ricetrasmittente si riduce a quella punteggiata in figura 2.

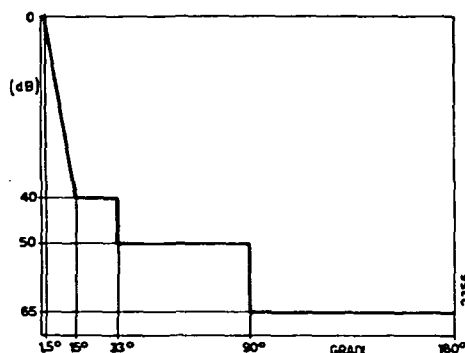


Fig. 3. — Maschera del diagramma d'irradiazione delle antenne da usare.

La postazione va poi scelta in modo che la lunghezza delle tratte in uscita dalla città sia all'incirca la stessa. Con queste assunzioni, il rapporto di protezione tra le varie direttrici risulta essere pari a circa 65 dB; questi possono essere ulteriormente aumentati se si usano antenne con pannelli assorbenti. Poiché nell'esempio di figura 2 la lunghezza delle tratte è di circa 40 km con buona visibilità radioelettrica, anche per lo 0,1 % del tempo non sono da aspettarsi fadings superiori alla quindicina di dB; ne risulta che un rapporto di protezione « segnale utile / segnale interferente » dell'ordine dei 50 dB (valore conservativo) è assicurato anche per le alte percentuali del tempo e anche nell'ipotesi di fadings non contemporanei sulle direttrici che si dipartono dalla città interessata.

II - ALCUNI PROBLEMI RELATIVI ALLA PROPAGAZIONE IN AREE URBANE DI SEGNALI TELEVISIVI TRASMESSI SU PONTE RADIO

I maggiori problemi posti dalla propagazione in aree urbane di segnali televisivi trasmessi su ponte radio riguardano le eventuali riflessioni da edifici e le eventuali intercettazioni del fascio radio da parte di questi ultimi.

Mentre l'intercettazione del fascio radio da parte di edifici ha per conseguenza i ben noti effetti di riduzione del campo in ricezione a seconda dell'entità del fascio intercettato, la presenza di eventuali riflessioni

provoca essenzialmente distorsioni delle risposte in ampiezza e ritardo di gruppo del collegamento. Queste, dopo demodulazione, si traducono in intermodulazione tra le varie componenti spettrali del segnale video (fase e guadagno differenziale alle varie frequenze).

Il segnale di luminanza è molto resistente a tali tipi di distorsione; la stessa cosa non si può dire, invece, per il segnale di cromaticanza (2).

La riflessione da edifici è un fenomeno statistico

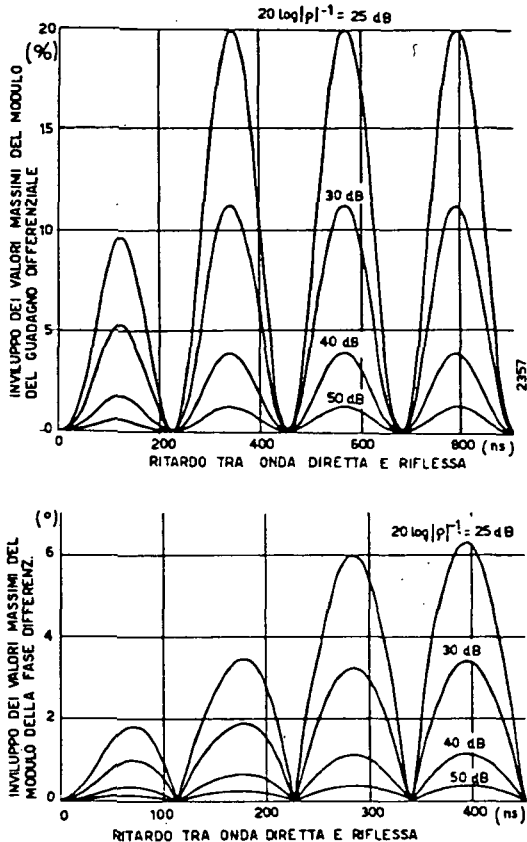


Fig. 4. — Diagrammi dell'involuppo del modulo del guadagno differenziale (sopra) e della fase differenziale (sotto) in funzione del ritardo fra l'onda diretta e quella riflessa; p = rapporto fra le ampiezze del raggio diretto e di quello riflesso.

difficilmente inquadrabile in quanto dipende dall'orientamento delle pareti esterne degli edifici, dalle loro caratteristiche di reirradiazione, dalla loro distanza: cioè dallo sviluppo urbanistico il quale è un fenomeno di difficile controllo.

Particolare pericolosità presenta poi la reirradiazione dagli spigoli degli edifici. Benché in questo caso l'ampiezza del campo reirradiato nella direzione dell'antenna ricevente sia inferiore a quella che si avrebbe nel caso di riflessione pura da una parete piana, il fatto che lo spigolo dell'edificio reirradia energia in molte direzioni diverse aumenta la probabilità di interferenza.

L'effetto di riflessione da edifici si manifesta in

(2) Benché la materia sia ancora oggetto di studio presso il CCIR, si può dire che secondo i dati riportati in bibl. 3, per il circuito fittizio di riferimento e per l'80 % del mese non dovrebbero superarsi i $\pm 5^\circ$ e $\pm 10^\circ$ rispettivamente per la fase e il guadagno differenziale.

(3) Misure eseguite presso la RAI (bibl. 5) sembrano mostrare che, anche per quel che riguarda la qualità dell'audio, non è opportuno superare i limiti di distorsione riportati nella nota precedente per il segnale di cromaticanza.

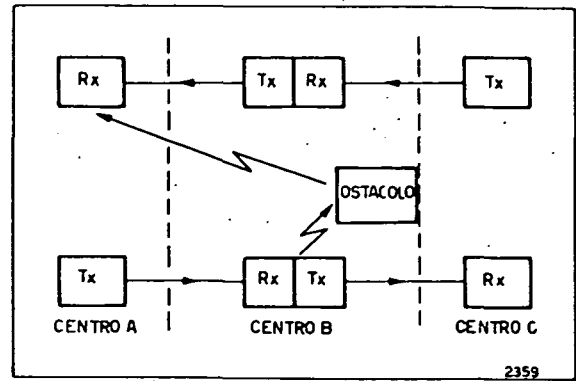


Fig. 5. — Interferenze provocate da un ostacolo (edificio) su altri ricevitori della catena.

genere con l'insorgere di distorsioni differenziali di entità poco variabile con il tempo. Nella figura 4 sono riportati i risultati (bibl. 4) di alcuni calcoli teorici, confermati dalla pratica, che mostrano come variano le distorsioni di fase (sotto) e il guadagno differenziale (sopra) alla frequenza di 4,43 MHz in funzione del ritardo del raggio riflesso e della sua ampiezza. Nei calcoli si è supposto l'uso dell'enfasi CCIR Racc. 405 per sistemi a 625 righe. Si può notare che, a parità di ampiezza del raggio riflesso, edifici riflettenti più lontani possono dare disturbi maggiori che non edifici riflettenti più vicini.

L'effetto di raggi riflessi sulla qualità di un eventuale segnale audio trasmesso in supervideo si manifesta essenzialmente come rumore di intermodulazione video-audio che ricade nel canale audio (3).

È infine da osservare che eventuali riflessioni da edifici possono provocare interferenze su altri ricevitori della catena in ponte radio secondo il meccanismo illustrato in figura 5. La possibilità di interferenze è particolarmente temibile nel caso di riflessione da edifici costruiti a una distanza non molto grande dalla bocca dell'antenna trasmittente. In un caso pratico di un edificio costruito abusivamente alla distanza di circa 200 metri dall'antenna trasmittente e ad una distanza angolare dall'asse di questa ultima pari a circa 5° , si è notato sul ricevitore interferito dell'altro senso di trasmissione un rientro di circa 32 dB inferiore al campo utile (vedi fig. 5; antenne usate: Horn Reflector da 36 dB di guadagno a 2000 MHz; frequenza usata: 1500 MHz).

In casi del genere, se non si può agire altrimenti, non resta che far sì che il ricevitore interferito lavori su una frequenza diversa da quella del trasmettitore interferente (ad es. usando una canalizzazione sfalsata rispetto alla canalizzazione principale). (2352)

BIBLIOGRAFIA

1. - THOMAS D. T.: *Design of multiple edge blinders for large Horn Reflector antennas*. «IEEE Transactions on Antennas and Propagation», marzo 1973.
2. - Doc. CMTT/207 - Italy - periodo 1970/73.
3. - Doc. CMTT/63 - Italy - periodo 1970/73.
4. - CASTELLI, LARI, TOMATI: *Distorsioni differenziali prodotte da una riflessione di piccola ampiezza su segnali televisivi a colori trasmessi su ponte radio a modulazione di frequenza nel caso che la sottoportante di colori moduli la portante radio con basso indice di modulazione*. «Alta Frequenza», gennaio 1970, pagg. 62-67.
5. - Doc. IX/223 - Italy - periodo 1966/69.

